



Kann die von Nitzschia (Pseudonitzschia)-
Kieselalgen gebildete Domosäure
für Muschelesser in Deutschland
gefährlich werden?

Sebastian A. Gerlach

Sonderdruck aus:
FIMA-Schriftenreihe, Band 25

Vortrag, gehalten auf der 36. Jahrestagung
des Ernährungswissenschaftlichen Beirats der
deutschen Fischwirtschaft
am 14. und 15. November 1992 in Nürnberg

Kann die von Nitzschia (Pseudonitzschia)-Kieselalgen gebildete Domo­säure für Muschelesser in Deutschland gefährlich werden ?

Sebastian A. Gerlach

Drei Menschen starben und 107 erkrankten, nachdem sie im November 1991 Miesmuscheln (*Mytilus edulis*) von der Ostküste der Prince Edward Insel gegessen hatten, die im Nordosten von Kanada liegt. Ursache waren 75 Tonnen von Aquakulturanlagen in der Cardigan Bay geerntete Muscheln, die zur Hälfte in die Provinz Quebec, zur Hälfte an Restaurants und Geschäfte in anderen Provinzen Kanadas und in den USA geliefert worden waren. Innerhalb von nur 104 Stunden waren die kanadischen Gesundheitsbehörden imstande, die Ursache zu ermitteln: es handelt sich um Domo­säure (englisch: domoic acid), von der bis zu 900 µg pro g Muschelweichkörper analysiert wurden (Quilliam und Wright, 1989).

Erste Symptome waren 15 Minuten bis 38 Stunden (Medianwert: 5,5 Stunden) nach dem Muschelessen aufgetreten : Übelkeit, Erbrechen (76 % der Patienten), Unterleibskrämpfe (50 %), Durchfall (42 %), Kopfschmerzen (43 %), bei älteren Patienten auch neurologische Effekte wie Verwirrung, Orientierungslosigkeit und Verlust des Kurzzeitgedächtnisses (25 %). Nach dem letzten Symptom wurde die Vergiftung als "Amnesic Shellfish Poisoning" (ASP) bezeichnet, deutsch "die mit Vergeßlichkeit verbundene Muschelvergiftung". 22 Menschen mußten sich deswegen in Krankenhäusern behandeln lassen. Einige Patienten hatten noch ein Jahr später neurologische Symptome. Die drei Todesopfer waren 71, 82 und 84 Jahre alt und starben 12, 24 und 18 Tage, nachdem sie Muscheln gegessen hatten. Alle schwer erkrankten Patienten, die jünger als 65 Jahre alt waren, hatten Diabetes, Nierenprobleme und hohen Blutdruck. Vermutlich waren sie wegen schlechter Nierenfunktion für die Krankheit prädisponiert. Vermutlich sind bei jungen, gesunden Muschelessern die Symptome geringfügig (Perl et al., 1990). Über die

neurologischen Befunde bei 14 erkrankten Muschelessern aus dem Gebiet von Montreal berichteten Teitelbaum et al. (1990).

Domosäure ist eine tricarboxylische exzitatorische Aminosäure, ein biochemisches Analog zur Kainsäure (Abb. 1). Sie unterbricht wie Kainsäure die durch Glutamat bewirkte Neurotransmission und wird langfristig an die Rezeptoren für Kainsäure gebunden. Domosäure kann mit der HPLC-Methode bis herab zu Konzentrationen von 0,2 µg/g analysiert werden. Referenzmaterial und eine Kalibrierlösung sind erhältlich. Der Mäusetest liefert charakteristische Befunde, wenn die Domosäure-Gehalte mehr als 70 µg/g Muschelweichkörper betragen (Gilgan et al., 1990): 7 - 21 Minuten nach der Injektion kratzen sich die Mäuse mit den Hinterpfoten an den Schultern, nach 11 - 51 Minuten sterben sie (Perl et al., 1990). Domosäure-Gehalte von mehr als 200 µg/g Muschelweichkörper rufen bei empfindlichen Personen Effekte hervor, wenn sie eine Muschelportion verspeisen. Deshalb wurde in Kanada als zulässiger Höchstwert für Domosäure 20 µg/g festgelegt (Addison und Stewart, 1989).

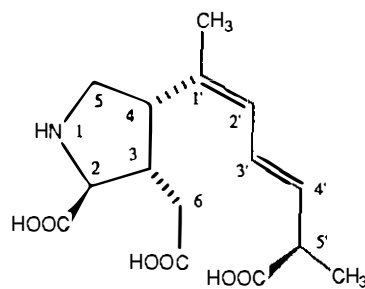


Abb. 1: Domosäure

Schon vor über dreißig Jahren wurde Domosäure im Extrakt aus der japanischen Rotalge *Chondria armata* entdeckt. Diese an der Küste der Anami-Inseln wachsende Großalge wird von den Japanern "Domo" genannt und in der Volksmedizin als Antihelminthicum benutzt. Fliegen, die sich auf den zum Trocknen ausgebreiteten Algen niedergelassen hatten, sollen gestorben sein. Domosäure hat also wohl auch insektizide Eigenschaften (Maeda et al., 1984). Domosäure wurde auch in einer anderen Rotalge (*Alsidium corallinum*) nachgewiesen. *Chondria baileyana*, die ebenfalls Domosäure produziert, kommt an den Küsten der Prince

Edward Insel vor. Aber die Miesmuscheln in der Cardigan Bay bekamen das Gift über das Phytoplankton, nämlich von der Kieselalge (Diatomee) *Nitzschia pungens* forma *multiseries* Hasle (Subba Rao et al., 1988).

Diese einzellige Planktonalge ist etwa 0,08 mm lang und bildet etwa 0,5 mm lange Ketten, zu denen sich die Zellen so anordnen, daß sich nur ihre Spitzen berühren. *Nitzschia pungens* forma *multiseries* kam im Oktober 1987 mit bis zu 15 Millionen Zellen pro Liter im Wasser der Cardigan Bay vor. Die von Mitte Dezember 1987 bis Mitte Januar 1988 gesammelten Phytoplanktonproben enthielten fast ausschließlich diese Art (Bates et al., 1989). Im Dezember unter dem Eis gesammelte Proben von *Nitzschia pungens* forma *multiseries* hatten immer noch Domosäure-Konzentrationen bis zu 12 mg/g Trockengewicht. Die in der Cardigan Bay kultivierten Miesmuscheln filtrierten aus dieser Diatomeen-Massenentwicklung Algenzellen heraus und speicherten die Domosäure in ihrem Körper. Ab Dezember 1987 verringerten sich die Giftkonzentrationen in den Muscheln schnell.

1988 gab es erneut Massenvermehrungen von *Nitzschia pungens* forma *multiseries* in der Cardigan Bay. Vorausgegangen war eine *Skeletonema*-Blüte mit über 7 Millionen Zellen pro Liter. Anschließend war in der zweiten Septemberhälfte kein Nitrat mehr im Wasser nachweisbar. Im Oktober 1988 stieg die Nitratkonzentration auf etwa 1 µmol/L und es entwickelte sich eine erste *Nitzschia*-Blüte mit etwa 200 000 Zellen pro Liter, wobei erneut das Nitrat aufgebraucht wurde. Nachdem Ende Oktober die Nitratkonzentration auf etwa 2 µmol/L angestiegen war, entwickelte sich eine zweite *Nitzschia*-Blüte und gipfelte Mitte November 1988 mit 1,2 Millionen Zellen pro Liter. Anschließend brach diese Blüte schnell zusammen. Es wird vermutet, daß jeweils vor den Blüten starke Regenfälle Nitrat von landwirtschaftlich genutzten Flächen abgespült hatten und daß anschließend der Cardigan River große Nährstoffmengen in die Cardigan Bay einleitete. Der Domosäure-Gehalt der *Nitzschia*-Zellen erreichte im November 1988 5-7 Picoogramm pro Zelle. In den Miesmuscheln stiegen die Domosäure-Gehalte jedoch erst mit 9 Tagen Verzögerung bis auf etwa 300 µg/g Ende November an (Smith et al., 1990). 1989 waren nur geringe Giftmengen in den Muscheln nachweisbar und 1990 waren die Muscheln aus der Cardigan Bay frei von Domosäure. 1990 trat Domosäure jedoch in Muscheln auf, die in einer anderen Bucht der Prince Edward Insel geerntet wurden.

Die weltweit verbreitete "Stammform" *Nitzschia pungens* Grunow produziert keine Domosäure. *Nitzschia pungens* forma *multiseries* dagegen bildet auch in Laborkulturen das Gift. Ob es sich bei forma *multiseries* um eine eigene Art mit dieser Eigenschaft handelt, oder ob es sich um eine Wachstumsform handelt, die vor allem bei bestimmten Temperaturbedingungen am Beginn des Winters auftritt und dann sogar unter dem Eis "blüht", ist noch offen. Die Unterschiede zwischen den beiden Formen lassen sich eindeutig nur unter dem Elektronenmikroskop erkennen. Anscheinend kommen die "Stammform" von *N. pungens* und die "forma *multiseries*" auch zusammen vor, wobei im Sommer *N. pungens* überwiegt (Subba Rao et al., 1988; Waldichuk, 1989; Smith et al., 1991).

Domosäure wird nicht von den Gameten und Zygoten und auch nicht von exponentiell sich vermehrenden Algenzellen produziert, sondern nur von seneszenten Zellen in der stationären Wachstumsphase und von absterbenden Zellen (Subba Rao et al., 1991). 6-10 Picogramm Domosäure pro Zelle wurden gefunden (Subba Rao et al., 1990). Auch in bakterienfrei gemachten Kulturen wurde Domosäure gebildet (Douglas und Bates, 1992). Inzwischen ist es möglich, *Nitzschia pungens* forma *multiseries* in Massenkulturen mit 160 Millionen Zellen pro Liter zu züchten. Die Zellen teilen sich bis zu dreimal am Tag. Bis zu 2 Picogramm Domosäure pro Zelle werden gemessen. Das eröffnet Möglichkeiten der kommerziellen Produktion von Domosäure (Wohlgeschaffen et al., 1992).

Nitzschia pungens forma *multiseries* ist zuerst aus dem Oslofjord beschrieben worden (Hasle, 1965) und wurde auch aus der Chesapeake Bay und der Kieler Bucht gemeldet (Hasle, 1972). Sie kommt auch an der Küste von Texas vor und produziert dort Domosäure (Fryxell et al., 1991), ebenso an der Pazifikküste von Kanada (Forbes und Denman, 1991). Wegen Domosäure in Messermuscheln und Krabben mußten im November 1991 Muschelgebiete in den US-Staaten Washington, Oregon und Kalifornien geschlossen werden (Fritz et al., 1992), wobei jedoch wenigstens zum Teil eine andere *Nitzschia*-Art (*australis*) dafür verantwortlich war.

1987 trat in der Cardigan Bay (Prince Edward Insel) auch eine benthische Diatomeenart auf, die Domosäure produziert: *Amphora coffeaeformis* (Agardh) Kützinger. In einer 7 Tage alten Kultur dieser Kieselalge fanden sich bis zu 0,2 Picogramm Domosäure pro Zelle (Maranda et al., 1990).

1988 wurden an der Nova Scotia-Küste der Bay of Fundy geringe Mengen von Domosäure in der Muschel *Volsella modiolus* und in der Mitteldarmdrüse der Kammuschel *Plagiopecten magellanicus* gefunden. Muschelzuchtgebiete an der New Brunswick-Küste der Bay of Fundy wurden wegen zu hoher Domosäure-Gehalte geschlossen. Im Juli 1988 waren dort zunächst geringe Domosäure-Gehalte in Miesmuscheln und in Sandklaffmuscheln (*Mya arenaria*) gefunden worden. Die Konzentrationen stiegen bis September über den zulässigen Höchstwert von 20 µg/g und erreichten an einer Station 78 µg/g. Erst im Oktober konnten die Muschelgebiete wieder freigegeben werden (Gilgan et al., 1990). In der Bay of Fundy war eine andere Art, *Nitzschia pseudodelicatissima* Hasle die vorherrschende Phytoplankton-Diatomee und erreichte Zellzahlen bis 1,2 Millionen Zellen pro Liter. In Kulturen dieser Diatomee wurde Domosäure nachgewiesen (Martin et al., 1990). *Nitzschia pseudodelicatissima* war auch früher schon in der Bay of Fundy als dominierende Phytoplanktonart aufgetreten, ohne daß man auf toxische Wirkungen aufmerksam geworden wäre.

Im Herbst 1991 gab es im Sognefjord und im äußeren Oslofjord (Norwegen) Massenentwicklungen von *Nitzschia pseudodelicatissima* mit mehr als 2 Millionen Zellen pro Liter. Die Behörden warnten die Muschelzüchter und schickten Proben zur Domosäure-Analyse an Professor Shimizu nach Narragansett (Tangen, 1991). Das Ergebnis war offenbar negativ, sonst hätte man etwas davon gehört. Auch 1992 wurde die Art wieder aus Norwegen gemeldet. In der zweiten Augusthälfte 1992 kam *Nitzschia pseudodelicatissima* mit bis zu 6 Millionen Zellen pro Liter auch in der Kieler Bucht vor (Dr. U. Horstmann, Institut für Meereskunde Kiel, mündl. Mitteilung). Untersuchungen auf Domosäure wurden nicht durchgeführt. *Nitzschia pseudodelicatissima* wurde 1992 auch aus der dänischen Beltsee gemeldet. Der Sommer 1992 war extrem warm, ruhig und niederschlagsarm.

Nicht nur Muscheln, sondern auch Sardellen können Domosäure speichern. Auf der 5. Internationalen Konferenz über giftiges marines Phytoplankton in Newport, Rhode Island, USA, im Oktober 1991 berichtete (nur zwei Monate nach dem Ereignis) T. M. Work über das Pelikansterben, welches sich im September 1991 in der Monterey Bay, Kalifornien, ereignet hatte. Erkrankte Braune Pelikane (*Pelecanus occidentalis*) zitterten und bewegten den Kopf von einer zur anderen Seite. Wenn sie versuchten zu fliegen, konnten sie die Füße nicht einziehen und der Kopf sackte ab. Häufig kratzten sie sich mit einem Fuß am Kehlsack. Später

verloren die Pelikane beim Schwimmen das Gleichgewicht und trieben dann auf der Seite oder auf dem Rücken liegend im Wasser. Über 100 Pelikane starben. Klinische Befunde ließen sich nicht feststellen. Auch Brandt's Kormorane (*Phalacrocorax penicillatus*) waren betroffen (Work et al., im Druck).

Der Darm dieser Pelikane war mit Sardellen (*Engraulis mordax*) gefüllt, die Eingeweide der Sardellen enthielten Diatomeen einer zunächst *Nitzschia pseudo-seriata* Hasle genannten Art, die später mit *Pseudonitzschia australis* Frenguelli synonymisiert wurde. Sowohl in den Eingeweiden der Sardellen als auch im Mageninhalt der Pelikane wurden hohe Domosäure-Gehalte ermittelt, ebenso im Phytoplankton der Monterey Bay, wo *Nitzschia australis* dominierte und mit bis zu 100 000 Zellen pro Liter vorkam (Buck et al., 1992). Im November 1991 gab es in der Monterey Bay eine zweite Massenentwicklung von *Nitzschia australis* mit Zellzahlen bis zu 1 Million pro Liter und mit hohen Domosäure-Gehalten in Sardellen und Muscheln. In zwei Kulturen von *Nitzschia australis* aus der Monterey Bay wurden 12 und 37 Picogramm Domosäure pro Zelle nachgewiesen (Garrison et al., 1992). Auch schon 1977, 1989 und 1990 waren hohe Zellzahlen von *Nitzschia australis* bei Monterey beobachtet worden, ohne daß man jedoch auf ein Pelikansterben aufmerksam geworden wäre. Im November 1991 wurde bekannt, daß von der US-Pazifikküste nach Europa gelieferte Sardellen Domosäure enthalten können. Die Europäische Gemeinschaft verhängte ein Importverbot (Tangen, 1991).

Die pelagischen *Nitzschia*-Arten *pungens*, *pseudodelicatissima* und *australis* werden von manchen Autoren in eine eigene Gattung *Pseudonitzschia* gestellt, von anderen Autoren in eine Section *Pseudonitzschia* innerhalb der Gattung *Nitzschia*. Deshalb werden sie leider unterschiedlich sowohl unter dem einen als auch unter dem anderen Gattungsnamen im Zusammenhang mit Domosäure genannt.

Es ergeben sich drei Gesichtspunkte:

Erstens dachte man bisher, nur Geißelalgen (Flagellaten), aber nicht Kieselalgen (Diatomeen) würden Phytoplankton-Gifte produzieren. Heute muß man in die Algen-Frühwarnsysteme auch die Diatomeen mit einbeziehen. Das ist schwierig, denn eine sichere Artbestimmung ist nur mit dem Elektronenmikroskop möglich. Muschelkulturen sollten bei *Nitzschia*-Blüten auf Domosäure überwacht werden. Die dafür eingerichtete HPLC-Analytik wird im Staatlichen Veterinärun-

tersuchungsamt für Fische und Fischwaren in Cuxhaven vorgehalten. Wo es Sardellen oder Menhaden-Fische gibt, die Phytoplankton fressen, muß man auch fischfressende Raubfische im Verdacht haben, daß sie Domoisäure speichern. Dort muß man auch damit rechnen, daß fischfressende Seesäuger und Seevögel betroffen sind.

Zweitens ist bisher noch unklar, ob es sich um eine neue Gefährdung handelt, eventuell begünstigt durch die Eutrophierung der Küstengewässer, oder ob hohe Domoisäure-Gehalte auch früher schon in Muscheln und Sardellen an den genannten Küsten aufgetreten sind, ohne daß man Effekte erkannt hätte.

Drittens ist damit zu rechnen, daß *Nitzschia pungens* forma *multiseries* und *Nitzschia pseudodelicatissima* auch in deutschen Gewässern Domoisäure produzieren. Möglicherweise werden diese Phytoplankter ja auch durch Schiffsverkehr verfrachtet.

Ich habe bereits an anderer Stelle einige Informationen über "Domoisäure" zur Kenntnis gebracht (Gerlach 1992). Da sich der Name vom japanischen Wort Domo ableitet, ist die Bezeichnung Domoisäure für das englische "domoic acid" besser. Herrn Dr. Reimer Simonsen (Schobüll) danke ich für Hinweise zur Systematik von *Nitzschia*. Dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit verdanke ich meine Teilnahme an der 5. Konferenz über giftiges Phytoplankton in Newport, USA.

Literatur

Addison, R. F. und Stewart, J. E., 1989. Domoic acid and the Eastern Canadian molluscan shellfish industry. *Aquaculture* 77, 263-269

Bates, S. S., Bird, C. J., de Freitas, A. S. W., Foxall, R., Gilgan, M., Hanic, L. A., Johnson, G. R., McMulloch, A. W., Odense, P., Pocklington, R., Quilliam, M. A., Sim, P. G., Smith, J. C., Subba Rao, D. V., Todd, E. C. D., Walter, J. A., Wright, J. L. C., 1989. Pennate diatom *Nitzschia pungens* as the primary source of domoic acid, a toxin in shellfish from eastern Prince Edward Island, Canada. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46, 1203-1215

Buck, K. R., Uttal-Cooke, L., Pilskaln, C. H., Roelke, D. L., Villac, M. C., Fryxell, G. A., Cifuentes, L., Chavez, F. P., 1992. Autecology of the diatom *Pseudonitzschia australis*, a domoic acid producer, from Monterey Bay, California. Mar. Ecol. Progr. Ser. 84, 293-302

Douglas, F. J. und Bates, S. S., 1992. Production of domoic acid, a neurotoxic amino acid, by an axenic culture of the marine diatom, *Nitzschia pungens* f. *multiseries* Hasle. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49, 85-90

Forbes, J. R. und Denman, K. L., 1991: Distribution of *Nitzschia pungens* in coastal waters of British Columbia. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48, 960-967

Fritz, L., Quilliam, M. A., Wright, J. L. C., Beale, A. M., York, T. M., 1992. An outbreak of domoic acid poisoning attributed to the pennate diatom *Pseudonitzschia australis*. J. Phycol. 28, 439-442

Fryxell, G. S., Roelke, D. L., Valencic, D. L., Cifuentes, L. A., 1991: The toxin-producing *Nitzschia pungens* f. *multiseries* Hasle: field resplts and experimental comparisons. Kurzfassung: Fifth international conference on toxic Phytoplankton. Erscheint in Smayda, T. J. und Shimizu, Y. (Herausgeber), Toxic blooms in the sea. Elsevier, New York usw.

Garrison, D. L., Conrad, S. M., Eilers, P. P., Waldron, E. M., 1992. Confirmation of domoic acid production by *Pseudonitzschia australis* (Bacillariophyceae) cultures. J. Phycol. 28, 604-607

Gerlach, S. A.: Ergebnisse der 5. Internationalen Konferenz über giftiges marines Phytoplankton. Deutsche Gesellschaft für Meeresforschung (DGM) Mitteilungen 2/1992, 5-11

Gilgan, M. W., Burns, B. G., Landry, G. J., 1990. Distribution and magnitude of domoic acid contamination of shellfish in Atlantic Canada during 1988. S. 469-474 in Graneli, E., Sundström, B., Edler, L., Anderson, D. M. (Herausgeber), Toxic marine phytoplankton. Elsevier, New York usw.

Hasle, G. R., 1965: *Nitzschia* and *Fragilariopsis* species studied in the light and electron microscopes. II. The group *Pseudonitzschia*. Videnskaps-Akademie Skr. I Mat.-Naturvid. Klasse. Ny Serie 18

Hasle, G. R., 1972: The distribution of *Nitzschia seriata* Cleve and allied species. Nova Hedwigia, Beiheft 39, 171-190

Maeda, M. T., Kosama, T., Tanaka, T., Ohfune, Y., Nomoto, K., Nishimura, K., Fujita, F., 1984. Insecticidal and neuromuscular activities of domoic acid and its related compounds. J. Pesticide Sci. 9, 27-32

Maranda, L., Wang, R., Masuda, K., Shimizu, Y., 1990: Investigation of the source of domoic acid in mussels. S. 300-304 in Graneli, E., Sundström, B., Edler, L., Anderson, D. M. (Herausgeber), Toxic marine phytoplankton. Elsevier, New York usw.

Martin, J. L., Haya, K., BurrIDGE, L. E., Wildish, D. J., 1990. *Nitzschia pseudodelicatissima* - a source of domoic acid in the Bay of Fundy, eastern Canada. Mar. Ecol. Progr. Ser. 67, 177-182

Perl, T. M., Bedard, L., Kosatzky, T., Hockin, J. C., Todd, E. C. D., Remis, R. S., 1990. An outbreak of toxic encephalopathy caused by eating mussels contaminated with domoic acid. New England J. Med. 322, 1775-1780 (s. auch Korrespondenz Band 323, 1631-1633)

Quilliam, M. A. und Wright, J. L. C., 1989: The amnesic shellfish poisoning mystery. Analytical Chemistry 61, 1053-1060

Smith, J. C., Cormier, R., Worms, J., Bird, C. J., Quilliam, M. A., Pocklington, R., Angus, R., Hanic, L., 1990. Toxic blooms of the domoic acid containing diatom *Nitzschia pungens* in the Cardigan River, Prince Edward Island, in 1988. S. 227-237 in Graneli, E., Sundström, B., Edler, L., Anderson, D. M. (Herausgeber), Toxic marine phytoplankton. Elsevier, New York usw.

Smith, J. C., Pauley, K. E., Angus, R., Cormier, P., Fritz, L., O'Neil, D., Worms, J., 1991: Variations in the domoic acid toxicity of natural populations of *Nitzschia pungens* in the south-eastern Gulf of St. Lawrence. Kurzfassung: Fifth internat. conference on toxic phytoplankton. Erscheint in Smayda, T. J. und Shimizu, Y. (Herausgeber), Toxic blooms in the sea. Elsevier, New York usw.

Subba Rao, D. V., de Freitas, A.S.W., Quilliam, M. A., Pocklington, R., Bates, S. S., 1990. Rates of production of domoic acid, a neurotoxic amino acid in the pennate marine diatom *Nitzschia pungens*. S. 413-417 in Graneli, E., Sundström, B., Edler, L., Anderson, D. M. (Herausgeber), Toxic marine phytoplankton. Elsevier, New York usw.

Subba Rao, D. V., Partensky, F., Wohlgeschaffen, G., Li, W. K. W., 1991. Flow cytometry and microscopy of gametogenesis in *Nitzschia pungens*, a toxic, bloom-forming, marine diatom. J. Phycol. 27, 21-26

Subba Rao, D. V., Quilliam, M. A., Pocklington, R., 1988. Domoic acid - a neurotoxic amino acid produced by the marine diatom *Nitzschia pungens* in culture. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45, 2076-2079

Tangen, K., 1991: News on toxic algae in Norway. Red Tide Newsletter 4 (4), 3-4

Teitelbaum, J. S., Zatorre, R., Carpenter, S., Gendron, D., Evans, A. C., Gjedde, A., Cashman, N. R., 1990: Neurologic sequelae of domoic acid intoxication due to ingestion of contaminated mussels. New England J. Med. 322, 1781-1787 (s. auch Korrespondenz in dieser Zeitschrift Band 323, 1631-1633)

Waldichuk, M., 1989: Amnesic shellfish poison. Mar. Pollution Bull. 20, 359-360

Wohlgeschaffen, G. D., Subba Rao, D. V., Mann, K. H., 1992. Vat incubator with immersion core illumination - a new inexpensive setup for mass phytoplankton culture. J. appl. Phycol. 4, 25-29

Work, T. M., Beale, A. M., Fritz, L., Quilliam, M. A., Silver, M., Buck, K., Wright, J. L. C., im Druck: Domoic acid intoxication of brown pelicans and cormorants in Santa Cruz, California. In: Smayda, T. J., Shimizu, Y., (Herausgeber), Toxic blooms in the sea. Elsevier, New York usw.